

복합근육활동전위의 시작잠복기와 진폭에 대한 기준전극의 영향

한림대학교 의과대학 신경과학교실

이상무 · 손종희 · 최휘철

The Influence of the Reference Electrode on Compound Muscle Action Potential Onset Latency and Amplitude

Sang-Moo Lee, M.D., Heui-Chul Choi, M.D., Jong-Hee Son, M.D.

Department of Neurology, Hallym University, College of Medicine, Chuncheon, Korea

Received 22 January 2010; received in revised form 26 February 2009; accepted 19 March 2010.

Background: Background: In belly-tendon (bipolar) montage, reference (R2) electrode placed on muscle's tendon has traditionally been considered to be electrically inactive. However, recent studies have revealed that R2 electrode is not simply referential, but actively contributes to compound muscle action potential (CMAP) waveform morphology. These findings suggest that CMAP onset latency and amplitude may also be influenced by the position of R2 electrode. This study was performed in order to evaluate the effect of R2 electrode position on CMAP onset latency and amplitude. **Methods:** We performed motor nerve conduction studies of median, ulnar, tibial and peroneal nerves on bilateral limbs of 20 normal subjects. We used traditional bipolar and monopolar montage and compared their CMAP onset latencies and amplitudes. In bipolar montage, recording (R1) electrode was placed on mid-belly of muscle with R2 electrode on the tendon of the muscle. In monopolar montage, R1 electrode was placed on the same site of bipolar montage, while R2 electrode was placed on the contralateral limb. **Results:** The mean CMAP onset latencies of median and peroneal nerves in bipolar montage were significantly different ($p < 0.05$) with those in monopolar montage. And those of ulnar and tibial nerves were not significantly different ($p > 0.05$). The mean CMAP amplitudes of all the tested nerves except ulnar nerve were significantly different ($p < 0.05$). **Conclusions:** This study shows that change in R2 electrode position can affect the CMAP onset latency and amplitude, and these differences seem to be related to the generation of far field potential by CMAP.

Key Words: Compound muscle action potential, Onset latency, Reference electrode

서 론

운동신경전도검사의 표준으로 사용되는 검사법은 활동

전극을 근육팽대부에, 기준전극을 근육힘줄에 부착하는 양극몽타주 방법으로 실시한다.^{1,2} 이 검사법에서는 운동종판이 모인 곳에서 근육의 전기활동이 시작된다고 가정하기에 이곳에 활동전극을 부착하고, 전기적인 활성이 없거나 무관한 것으로 여겨지는 근육힘줄에 기준전극을 부착하여 검사를 시행한다.^{3,4} 그 동안 근육팽대부에 있는 활동전극의 위치를 바꾸면 복합근육활동전위의 진폭이나 모양을 바꿀 수 있다는 보고가 많이 있었다.⁵⁻⁸ 그러나 근육힘줄에 위치한 기준전극은 상대적으로 별 관심을 끌지 못하다가

Address for correspondence;

Sang-Moo Lee, M.D.

Department of Neurology, Chuncheon Sacred Heart Hospital, Hallym University, College of Medicine 153 Gyo-dong, Chuncheon, Gangwon-do 200-704, Korea

Tel: +82-33-246-5746 Fax: +82-33-255-1338

E-mail: mooleemd@hallym.or.kr

척골신경을 제1배측골간근(first dorsal interosseus)에서 기록할 때 기준전극에 전기적인 활성이 있다는 보고와 기준전극 위치를 바꾸면 복합근육활동전위의 모양이나 크기를 변경시킬 수 있다는 보고 등이 있는 뒤에 기준전극의 역할에 대한 관심이 높아졌다.^{9,10} 이런 결과들을 종합해 보면 근육힘줄에 위치한 기준전극에 전기적인 활성이 있을 뿐 아니라 위치변경에 의해서 복합근육활동전위의 진폭이나 모양을 바꿀 수 있다는 것을 알 수 있다. 더욱이 이런 변화는 운동신경의 복합근육활동전위 시작잠복기(onset latency)도 바꿀 수 있다고 기대된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 표준화된 양극몽타주 검사법에 의한 운동신경검사에서 근육힘줄에 위치한 기준전극의 위치를 전기적인 활성이 거의 없다고 여겨지는 위치로 변경하는 단극몽타주 검사법으로 검사했을 때 복합근육활동전위의 시작잠복기가 변할 수 있는지의 여부를 진폭변화와 함께 알아보았다.

대상과 방법

1. 연구대상

23~55세(평균연령 36.7±8.5)의 건강한 남녀 20명(남자 12, 여자 8)을 대상으로 양쪽 상하지에서 각각 정중신경, 척골

신경, 경골신경 및 비골신경에 대한 운동신경전도검사를 실시하였다. 검사대상자는 병원직원이나 다른 검사를 받기 위해 신경학검사실에 내원한 환자들을 대상으로 검사에 대한 설명 및 동의를 얻은 후에 실시하였다. 손발저림의 과거력이나 현재 증상이 있는 경우, 당뇨병, 알코올중독 같은 다발신경병증을 초래할 수 병력이 있는 경우, 최근의 외상, 경추 및 요천추 신경근병증 등 그 밖에 검사에 영향을 미칠 수 있는 병력의 소유자는 검사대상에서 제외하였다.

2. 연구방법

검사대상자의 양쪽 상지에서 정중신경과 척골신경을, 하지에서 경골신경과 비골신경에 대한 운동신경전도검사를 각각 실시하였다. 우선 근전도 기계(Synergy, Oxford, England)를 이용하여 활동전극을 근육팽대부에, 기준전극을 근육힘줄에 부착하는 양극몽타주를 이용하여 각각의 운동신경에 대한 복합근육활동전위의 시작잠복기와 진폭을 구하였다. 음성파나 양성파에 관계없이 기저선의 첫 번째 편향(deflection)을 시작잠복기로 잡아서 측정했다. 정중신경과 척골신경의 활동전극은 손의 단무지외전근과 소지외전근에, 경골신경과 비골신경의 활동전극은 발의 무지외전근과 단지신근에 부착하였다. 전기자극기와 활동전극과의 거리

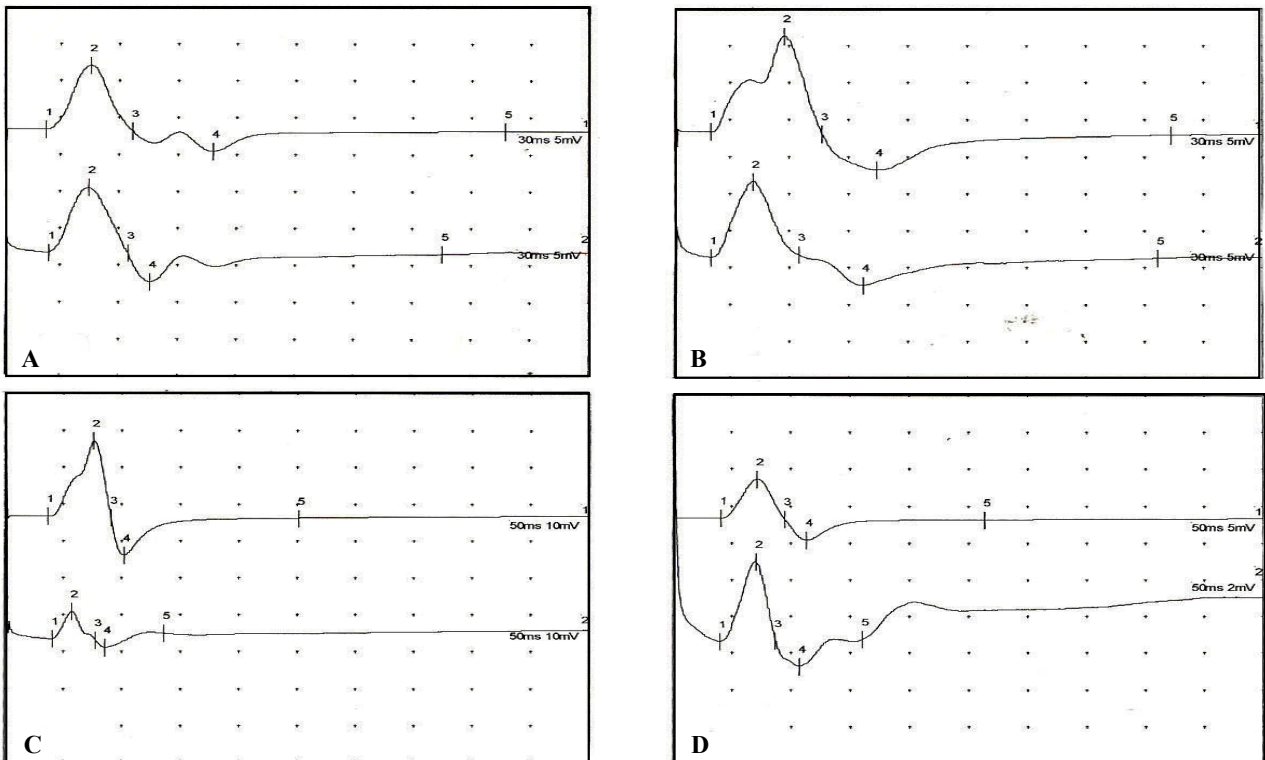


Figure 1. Compound muscle action potentials were recorded in bipolar (upper trace) and monopolar (lower trace) montage in median (A), ulnar (B), tibial (C) and peroneal nerves (D).

는 정중신경과 척골신경에서는 5 cm, 경골신경은 10 cm, 비골신경은 8 cm에서 각각 측정하였다. 신경전도검사를 시행할 때의 기계적 조건은 low filter 3 Hz, high filter 10 kHz, 소인속도 30 msec, 감수성 5 mV(경골신경에서는 10 mV) 상태에서 실시하였다. 두 번째는 전기적인 활성이 매우 작을 것으로 예상되는 곳에 기준전극을 부착하는 단극몽타주를 이용하여 똑같은 자극강도, 자극위치, 기계적 조건 등의 방법으로 검사를 시행하였다. 상지의 정중신경과 척골신경에 대해서는 반대쪽 다섯째 손가락 원위부 수지간관절에, 하지의 경골신경과 비골신경에 대해서는 반대쪽 첫 번째 발가락 배부에 기준전극을 부착하였다. 오른쪽과 왼쪽에서 각각 검사한 측정치는 신경종류별로 합쳐서 분석하였기에 각 신경당 40예를 검사하였다. 통계처리는 SPSS package를 이용하여 unpaired *t*-test로 검사하였고 유의수준(*p*값)은 0.05 이하일 때 통계적 의의가 있다고 판단하였다.

결 과

기존의 표준검사법인 양극몽타주와 단극몽타주 검사법을 이용하여 정중신경, 척골신경, 경골신경 및 비골신경에서 실시한 운동신경전도검사 결과를 보면 양극몽타주의 척골신경과 경골신경에서 두 개의 최고점을 나타내고 있다(Figure 1). 양극몽타주를 이용한 정중신경 및 비골신경의 복합근육활동전위 시작잠복기는 각각 2.83±0.36 msec 및 4.08±0.50 msec로 단극몽타주 검사법에 의한 측정치 2.79±0.30 msec 및 4.16±0.46 msec와 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(*p*<0.05). 양극몽타주 검사법에서 척골신경 및 경골신경의 시작잠복기는 2.21±0.24 msec 및 3.54±0.36 msec로 단극몽타주 검사법의 측정치 2.24±0.23 msec 및 3.57±0.42 msec와 각각 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(*p*>0.05)(Table 1).

양극몽타주에서의 정중신경, 척골신경, 경골신경 및 비골신경 복합근육활동전위의 진폭은 각각 9.59±2.43 mV, 11.13±1.60 mV, 18.21±5.29 mV 및 4.78±1.67 mV였다. 단극몽타주의 검사치는 각각 10.07±2.27 mV, 10.93±1.78 mV, 5.14±2.47 mV 및 3.96±1.54 mV로 척골신경에서만 통계적으로 유의한 차이가 없었고(*p*>0.05), 나머지 세 개의 신경에서는 각각 유의한 차이를 보였다(*p*<0.05)(Table 2).

고 찰

전통적으로 복합근육활동전위의 시작잠복기는 가장 빠른 전도속도를 갖는 신경섬유를 통해 제일 먼저 도착하는 활동전위에 의한 근육의 초기반응으로 해석된다.¹¹ 이 시점은 운동중판의 탈분극이 시작되는 시기로, 활동전극 바로 밑에 있는 근섬유에 의해 생성된 복합근육활동전위는 활동전극에서는 근전기장으로, 기준전극에서는 원전기장으로 동시에 기록된다.^{3,12} 과거에는 기준전극이 전기적인 활성이 없는 것으로 여겨졌기에 위치는 그다지 중요하지 않았고 이론적으로는 기준전극의 위치가 변하더라도 복합근육활동전위 시작잠복기에 영향을 주어서는 안 된다고 여겨졌다. 그러나 이후의 여러 연구에서 기준전극의 전기적 활성이 밝혀져서 척골신경이 지배하는 근육힘줄에 활동전극을, 반대쪽 손에 기준전극을 부착한 뒤 실시한 신경전도 검사에서 상당히 큰 파형을 얻을 수 있었고 이 파형이 양극몽타주에서 나타나는 척골신경 복합근육활동전위의 두 번째 최고점에 해당된다고 밝혀졌고, 경골신경과 비골신경에 대한 연구에서 활동전극뿐 아니라 기준전극도 복합근육활동전위의 진폭, 면적 및 모양에 영향을 주는 것으로 알려졌다.^{4,13,14} 또한 소지외전근에서 기록한 척골신경 복합근육활동전위의 상당부분이 새끼두덩(hypothemar) 근육이 아닌 다른 근육, 특히 셋째, 넷째 골간근에서 기인한 것으로

Table 1. Onset latencies of compound muscle action potential in bipolar and monopolar montage

	Bipolar montage (msec)	Monopolar montage (msec)	<i>p</i> -value
Median nerve	2.83±0.36	2.79±0.30	<0.05
Peroneal nerve	4.08±0.50	4.16±0.46	<0.05
Ulnar nerve	2.21±0.24	2.24±0.23	>0.05
Tibial nerve	3.54±0.36	3.57±0.42	>0.05

Table 2. Amplitudes of compound muscle action potential in bipolar and monopolar montage

	Bipolar montage (msec)	Monopolar montage (msec)	<i>p</i> -value
Median nerve	9.59±2.43	10.07±2.27	<0.05
Peroneal nerve	4.78±1.67	3.96±1.54	<0.05
Ulnar nerve	11.13±1.60	10.93±1.78	>0.05
Tibial nerve	18.21±5.29	5.14±2.47	<0.05

나타났다.¹⁵ 근육팽대부와 근육힘줄에 의한 영향은 양극몽타주 검사법에서 나타나는 복합근육활동전위의 모양으로도 구별할 수 있어서 정중신경과 요골신경에서는 종모양으로 나타나지만, 척골신경과 경골신경은 두 개의 최고점을 갖는 모양으로 자주 나타나고 두 번째 최고점이 근육힘줄에서 유래한 것임을 알 수 있다.⁴

이런 소견을 바탕으로 기준전극의 위치변화에 의한 복합근육활동전위의 시작잠복기 변화여부를 알아보기 위한 연구에서 양극몽타주에 비해 단극몽타주에서의 정중신경과 비골신경은 유의한 차이를 보였지만, 척골신경과 경골신경에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 각 신경별로 이런 차이를 나타낸 이유를 알기 위해 활동전극과 기준전극의 역할을 비교해보면 양극몽타주를 이용한 신경전도검사에서 활동전극은 근전기전위와 원전기전위를 동시에 기록하지만 주로 근전기전위에 의한 영향만 나타나는데, 이는 원전기전위가 활동전극과 기준전극에 동시에 비슷한 크기로 기록되기에 근전도계의 선별증폭기에 걸려져서 복합근육활동전위에 영향을 미치지 못하기 때문이다.^{12,14} 그리고 기준전극은 용적전도전위(volume conducted potential)를 포함한 원전기전위를 기록한다.¹⁶ 근전기전위는 전극의 위치에 따라 시작잠복기와 진폭이 많이 변하지만 원전기전위는 전극위치에 상관없이 측정이 가능하고 일정한 잠복기와 비교적 일정한 진폭을 나타낸다.^{3,14,17} 정중신경이나 비골신경에서는 근육힘줄에 비해 근육팽대부가 복합근육활동전위 형성에 매우 큰 역할을 하지만, 척골신경과 경골신경에서는 근육힘줄이 복합근육활동전위 형성에 더 큰 기여를 한다.^{4,14} 그러므로 복합근육활동전위에 의해 유발된 원전기전위가 단극몽타주에서 사용된 기준전극에 기록될 때, 근육힘줄의 영향이 매우 커서 원전기전위의 영향이 많은 척골신경과 경골신경에서는 일정한 시작잠복기를, 근육팽대부의 영향이 큰 정중신경과 비골신경에서는 다른 시작잠복기를 보인다고 여겨진다.^{3,4,13,14} 실제로 정중신경에서 기준전극을 엄지 중수지관절과 지절간관절에, 척골신경에서는 새끼손가락 중수지관절과 원지절간관절에 각각 놓고 실시한 시작잠복기의 비교에서도 정중신경에서는 다른 시작잠복기를, 척골신경에서는 같은 시작잠복기를 보여서 본 연구와 같은 결과를 나타냈다.¹³

복합근육활동전위 진폭에 대한 양쪽 몽타주 비교에서는 척골신경에서만 차이가 없었고 나머지 정중신경, 경골신경 및 비골신경에서는 각각 유의한 차이를 보였다. 정중신경과 비골신경이 각각 지배하는 단무지외전근과 단지신근은 원전기전위의 영향이 매우 작고, 활동전극의 위치에 따라 진폭이 크게 달라지는 근전기전위의 영향이 크기 때문에

이론적으로는 차이가 없어야 한다고 기대되었으나 정반대의 결과가 나왔다. 이는 정중신경과 비골신경의 지배를 받는 손, 발 근육이 척골신경의 지배를 받는 근육에 비해 매우 적어서 용적전도전위가 작게 작용한 것으로 추정된다. 실제로 정중신경이 분포하는 충양근(lumbrical muscle)은 복합근육활동전위 형성에 미미한 기여를 하고, 비골신경이 분포하는 발근육은 거의 기여를 하지 않는다.^{3,14} 척골신경이 지배하는 소지외전근은 근전기전위와 원전기전위의 영향을 비슷하게 받는다.³ 척골신경이 지배하는 근육이 손에 넓게 분포하고 있어서 복합근육활동전위에 의해 생긴 용적전도전위가 근전기전위와 함께 활동전극에 기록되기에 진폭의 차이를 나타내지 않았다고 보여진다.^{18,19} 경골신경이 지배하는 무지외전근은 주로 원전기전위의 영향이 크기 때문에 이론적으로 진폭의 차이가 있어야 하고 실제로도 큰 진폭의 차이를 보였다.

기준전극의 위치변동에 따른 복합근육활동전위의 시작잠복기와 진폭변화를 알아보기 위한 본 연구에서 근육팽대부의 기여도가 큰 정중신경과 비골신경에서는 시작잠복기의 차이를 보였지만, 근육힘줄의 영향이 큰 척골신경과 경골신경에서는 차이를 보이지 않았고 이는 복합근육활동전위에 의해 생긴 원전기전위 효과에 의한 것으로 보여진다. 복합근육활동전위의 진폭비교에서는 척골신경을 제외하곤 정중신경, 경골신경 및 비골신경에서 차이를 보였으며 이는 근위전위와 용적전도전위를 포함한 원전기전위의 복합작용에 의한 것으로 판단된다.

우리가 환자를 대상으로 신경전도검사를 할 때 활동전극은 근육팽대부에 정확하게 부착하려고 노력하지만 기준전극은 별 생각 없이 근육힘줄에 부착한 뒤 검사를 하는 경우가 종종 있다. 그러나 기준전극의 위치변동에 의해서도 복합근육활동전위의 모양, 시작잠복기, 진폭 등이 변할 수 있다는 사실에 유념하여 기준전극을 정확한 위치에 부착하여 신경전도검사를 시행해야 할 것으로 생각된다. 그리고 신경전도검사에서 복합근육활동전위 진폭이 낮게 나오는 경우에 정중신경과 비골신경에서는 활동전극의 위치를 바꿔가면서, 척골신경과 경골신경에서는 기준전극의 위치를 바꿔가면서 진폭의 이상유무를 확인해야 한다.

REFERENCES

1. Oh SJ. Nerve conduction techniques. In: Oh SJ. *Clinical electromyography: nerve conduction studies*, 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilins. 1993;41-45.
2. Olney RK, Wilbourn AJ. Ulnar nerve conduction study of the first dorsal interosseous muscle. *Am J Phys Med Rehabil*

- 1985;66:16-18.
3. Nandedkar SD, Barkhaus PE. Contribution of reference electrode to the compound muscle action potential. *Muscle Nerve* 2007;36:87-92.
 4. Kincaid JC, Brashear A, Markand ON. The influence of the reference electrode on CMAP configuration. *Muscle Nerve* 1993;16:392-396.
 5. Barkaus PE, Nandedkar SD. Recording characteristics of surface EMG electrodes. *Muscle Nerve* 1994;17:1317-1323.
 6. Bromberg MB, Spiegelbeg T. The influence of active electrode placement on CMAP amplitude. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997;105:385-389.
 7. van Dijk JG, Kamp W van der, Hilten BJ van, Someren P van. Influence of recording site on CMAP amplitude and on its variation over a length of nerve. *Muscle Nerve* 1994;17:1286-1292.
 8. van Dijk JG, Tjon-a-Tsien A, van der Kamp W. CMAP variability as a function of electrode site and size. *Muscle Nerve* 1995;18:68-73.
 9. Slomić A, Rosenfalck A, Buchthal F. Electrical and mechanical responses of normal and myasthenic muscle. *Brain res* 1968;10:1-78.
 10. Wertsch JJ, Park TA, Lomas JN, Melvin JL. Effect of reference electrode position on deep ulnar nerve conduction studies. *Muscle Nerve* 1990;13:862.
 11. Dumitru D. Nerve conduction studies. In:Dumitru D. *Electro-diagnostic medicine*. Philadelphia: Hanley & Belfus. 1995; 127-130.
 12. Falck B, Stålberg E. Motor nerve conduction studies: measurement principles and interpretation of findings. *J Clin Neurophysiol* 1995;12:254-279.
 13. Phongsamart G, Wertsch JJ, Ferdjallah M, King JC, Foster DT. Effect of reference electrode position on the compound muscle action potential (CMAP) onset latency. *Muscle Nerve* 2002; 25:816-821.
 14. Al-Shekhlee A, Fernandes Filho JA, Sukul D, Preston DC. Optimal recording electrode placement in the lumbrical-interosseus comparison study. *Muscle Nerve* 2006;33:289-293.
 15. McGill KC, Lateva ZC. The contribution of the interosseous muscle to the hypothenar compound muscle action potential. *Muscle Nerve* 1999;22:6-15.
 16. Dumitru D, King JC. Far field potentials in muscle. *Muscle Nerve* 1991;14:981-999.
 17. Dumitru D, Jewett DL. Far-field potential. *Muscle Nerve* 1993; 16:237-254.
 18. Van Dijk JG, Van Bente I, Kramer CG, Stegeman DF. CMAP amplitude cartography of muscles innervated by the median, ulnar, peroneal, and tibial nerves. *Muscle Nerve* 1999;22: 378-389.
 19. Stegeman DF, Dumitru D, King JC, Roelvelde K. Near-and far-fields: source characteristics and the conducting medium in neurophysiology. *J Clin Neurophysiol* 1997;14:429-442.